

计量供漆用 D500 步进电机

驱动装置线路分析

厦门大学 郭光真 福州电线厂 张 生

摘要 根据多年实践经验,剖析了 MAG 公司 H 型漆包机计量供漆系统的 D500 步进电机控制器,包括步进电机的工作时序、脉冲分配器、相电流设定电路、驱动电路、报警保护电路以及开关稳压电源电路等。藉此可解决 D500 维修难的问题,节约外汇。

主题词 漆包机 计量泵 电传动 电路 分析

D500 是 MAG 公司 H 型漆包机上供漆计量泵的步进电机的驱动装置。D500 采用恒流驱动,正负电源供电,具有多种工作方式,16 档相电流设定,以及报警保护功能。它的体积小,结构紧凑,更换方便。

但是,D500 的线路比较复杂,元器件多,印制板元器件密度高,在使用中有一定的故障率。

根据我们多年来维修 D500 的实践经验,专门对其线路作了分析解剖,现提供给同行参考。

D500 的内部结构框图见图 1。以下分别介绍各部分的工作原理。

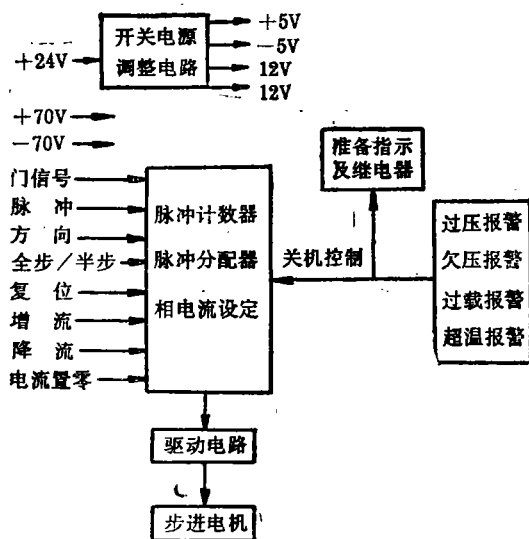


图 1 D500 结构框图

步进电机的工作时序

D500 采用正负电源供电(常用 $\pm 70\text{ V}$)。每相由两个控制回路分时控制,5 相共 10 个回路,由 10 个 VMOS 管作为驱动元件。正负电源各提供一半功率。

本装置的步进电机工作方式为 5 相 5 拍(全步)和 5 相 10 拍(半步)。设 5 个绕组为 A、B、C、D、E,则驱动时序如下:

全步时为: ABCD \rightarrow BCDE \rightarrow ODEA \rightarrow DEAB \rightarrow EABC \rightarrow ABCD;

半步时为: ABCD \rightarrow ABCDE \rightarrow BCDE \rightarrow BODEA \rightarrow CDEA \rightarrow CDEAB \rightarrow DEAB \rightarrow DEABC \rightarrow EABO \rightarrow EABOD \rightarrow ABCD。

图 2 画出了全步与半步的时序。横座标上方表示由 $+70\text{ V}$ 供电,下方表示由 -70 V 供电。全步时每 10 个脉冲为一个循环,步距角为 0.72° ; 半步时每 20 个脉冲为一个循环,步距角为 0.36° 。全步工作时,每个时刻同时有 4 相通电, $\pm 70\text{ V}$ 各负担 2 相。半步工作时每个时刻同时有 4~5 相通电,4 相通电时 $\pm 70\text{ V}$ 各负担 2 相,5 相通电时两组电源负担的相数由 2 相 \rightarrow 3 相 \rightarrow 2 相……交替变化,达到均衡负担的效果。

脉冲分配器

本电路未采用专用步进电机环形分配器,而是用可编程只读存储器 (PROM) 实现

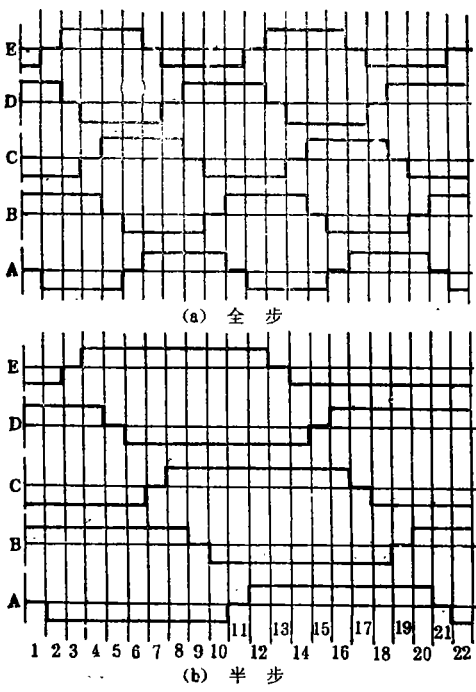


图2 步进电机工作时序

脉冲分配功能(见图3)。所用 PROM 的型号为 TBPI 8S 30 N, 有 5 根地址线共 32 个单元和 8 根数据线(即 8 bit), 另有片选输入端 \overline{EA} 。当 \overline{EA} 为低电平时, 输出数据有效; \overline{EA} 为高电平时, 输出悬空。

PROM 的数据线接驱动电路的输入端。

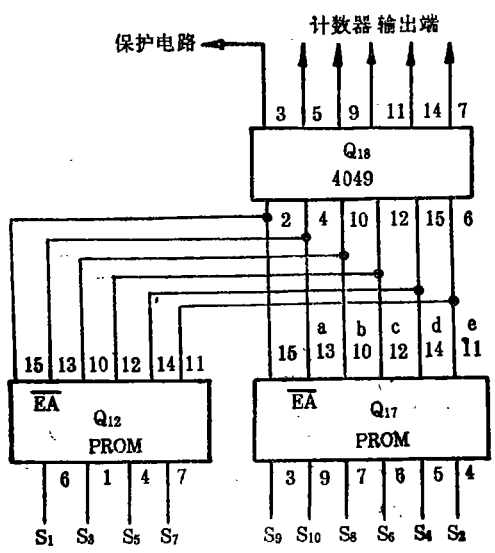


图3 脉冲分配器

因采用正负电源供电, 每相需两根数据线, 5 相共 10 个回路需要 10 根数据线, 故用 2 片 PROM。全步工作时占用 10 个单元; 半步时占用 20 个单元。计数器输出端经 Q_{18} 反相后接 PROM Q_{12} 和 Q_{17} 的地址线, 计数器的初始状态为 00000, PROM 地址却是从 11111 开始的。表 1 列出 PROM 输入(地址)和输出(数据)的对应关系, 全步工作时用其中的 1、3、5……19 共 10 个奇数单元; 半步工作时 20 个单元全部用上。

表 1 PROM 地址选址电路

时序	输入端					输出端									
	a	b	c	d	e	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	S ₈	S ₉	S ₁₀
1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0
2	0	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1
3	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1
4	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1
5	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1
6	0	1	0	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1
7	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1
8	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1
9	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1
10	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1
11	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0
12	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0
13	1	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0
14	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0
15	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0
16	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0
17	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0
18	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0
19	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0
20	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0

PROM 地址选址电路由 2 片 CD4029 组成的计数器构成(图 4)。CD 4029 为 4 位二十进制可逆计数器, 本电路接成十进制。在输入脉冲的作用下进行加(减)计数, 其输出端作为 PROM 的地址信号。 Q_{19} 的 4 根输出线和 Q_{13} 的 1 根输出线(最低位)经 Q_{18} 反相后形成 PROM 地址。

门信号控制计数器计数与否。当 $\overline{CE} = 0$ 时, 计数; 当 $\overline{CE} = 1$ 时, 不计数。

正/反信号控制步进电机的正反转。当

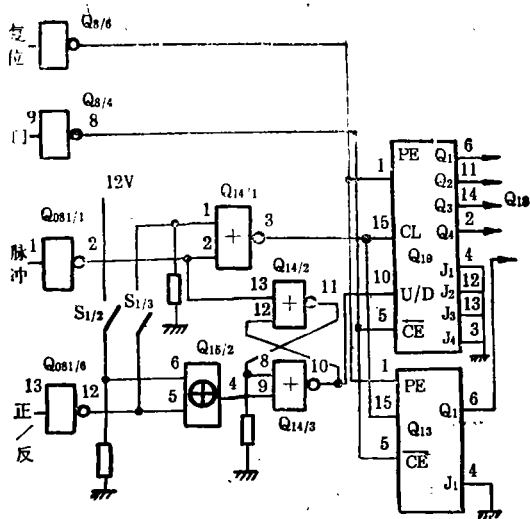


图4 计数器电路

$U/D=1$ 时进行加法计数, 步进电机按表 1 的时序运转, 即正转; 当 $U/D=0$ 时进行减法计数, 电机运转时序与此相反, 即反转。

复位信号加至 PE 端。当 $PE=0$ 时计数有效; 当 $PE=1$ 时不计数, 处于置数状态, 将 $J_1 \sim J_4$ 的状态打入输出端 $Q_1 \sim Q_4$ 。因 $J_1 \sim J_4$ 接地, 故 $Q_1 \sim Q_4$ 为零, 计数从头开始, 即复位。

全步/半步 (F/H) 控制电路见图 5。当 $S_{1/2}$ 闭合时, F/H 置高电平, 执行全步运行方式。这时 Q_{13} 的 PE 端为高电平, 不计数, 处于置数状态, 其 Q_1 端 = J_1 端 = 0, 而 Q_{13} 的 \overline{CE} 端为低电平, 处于计数状态。参见图 3, 经 Q_{18} 反相后 $a=1$, b, c, d, e 对应于 Q_{19} 的 4 根输出线, PROM 按表 1 的第 1、3、5、7……19 号时序寻址, 步进电机全步运行。

当 F/H 置低电平, 为半步运行方式。此时 Q_{13} 的 PE 端为低电平, Q_{13} 计数。现以正转为例来说明。正转时 Q_{19} 的 U/D 端为高电平, 可分为两种情况: (1) 当 Q_{13} 的 Q_1 端为高电平时, 经 $Q_{15/4}$ 、 $Q_{081/5}$ 和 $Q_{14/2}$ 使 Q_{19} 的 \overline{CE} 端为低电平, Q_{19} 计数翻转。这时, 图 3 中的 a, b, c, d, e 为 $0 \times \times \times \times$ ($\times=1$ 或 0), 对应于表 1 中第 2、4、6、……20 号时序, 步进

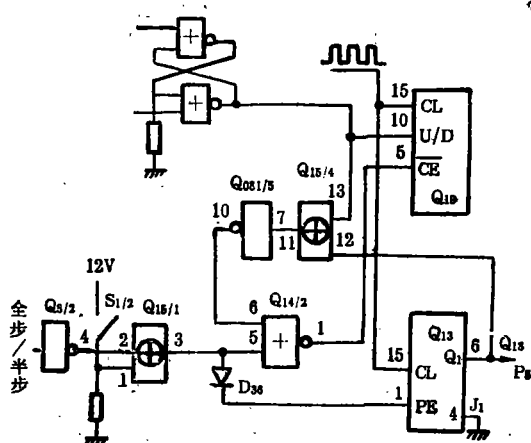


图5 全步/半步控制电路

电机 5 相通电。(2) 当 Q_{13} 的 Q_1 端为低电平时, Q_{19} 的 \overline{CE} 端为高电平, Q_{19} 禁止, 输出端维持上一次计数状态, 但 a 为高电平, a 至 e 为 $1 \times \times \times \times$, 对应于表 1 中的第 1、3、5、……19 号时序, 步进电机 4 相通电。这样 a 点 0、1 交替, 通电相数为 $4 \rightarrow 5 \rightarrow 4 \dots$ 循环, 即实现半步功能。反转时亦可作类似分析。

在不外加 F/H 信号时, $S_{1/2}$ 的断/通起同样的控制作用。 S_1 是 D500 上的控制开关。

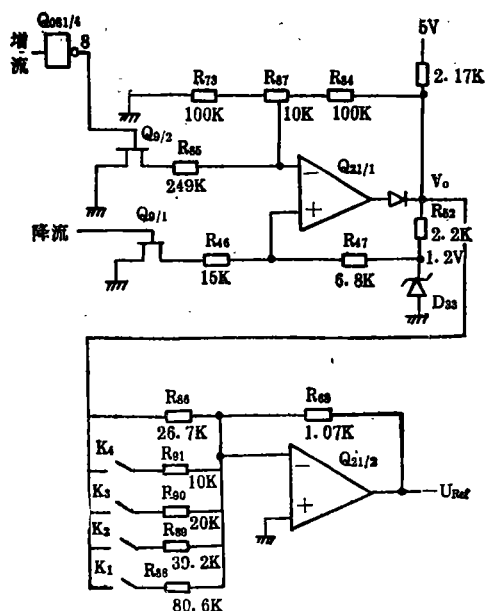


图6 相电流设定电路

相电流设定电路

D500 分 16 档调节步进电机的相电流, 从 0.45~2.8 A, 每两档之间是相差 0.15 A。D500 采用恒流驱动, 相电流由图 6 所示电路设定。

精密稳压管 D_{33} 提供 1.2 V 基准电压。按 $Q_{9/1}$ 和 $Q_{9/2}$ 的导通与否分 4 种情况分别计算出 V_0 的值(这里忽略 R_{87} 的影响, 假定 $R_{73} = R_{84} = 100 \text{ k}\Omega$), 结果见表 2。 $Q_{21/2}$ 为反相输入运放电路, 其输出为:

$$-U_{\text{Ref}} = \frac{R_{68}}{R_{86} \parallel R'} \cdot V_0$$

其中 R' 由 $R_{83} \sim R_{91}$ 组合而成, 由此可计算 $K_1 \sim K_4$ 在不同位置的 $-U_{\text{Ref}}$ 值。 $K_1 \sim K_4$ 为编码开关, 有 16 种状态, 对应于 16 档 $-U_{\text{Ref}}$ 值。不同的 $-U_{\text{Ref}}$ 值对应于不同的相电流值。

表 2

$Q_{e/1}$	$Q_{g/2}$	V_-	V_+	V_0	备 注
×	✓	$0.5V_0$	1.2V	2.4V	降流状态 增流状态
✓	×	$0.5V_0$	0.83V	1.67V	
×	✓	$0.416V_0$	1.2V	2.88V	
✓	✓	$0.416V_0$	0.83V	2.00V	

注: ×—截止; √—导通。

增流 (Boost) 信号的作用是使步进电机的相电流增大 20%, 力矩也相应增大。当 Boost 为高电平时, 无增流功能; 当 Boost 为低电平, $Q_{9/2}$ 导通, $V_{-} \downarrow$, V_0 从 2.4 V 增至 2.88 V, $-U_{R_{\text{ref}}}$ 也增大 20%。

降流功能由 $S_{1/4}$ 控制。当 $S_{1/4}$ 闭合时, $Q_{3/1}$ 截止, 无降流功能。当步进电机“锁定”在某一位置时, 计数器不翻转, PROM 数据为某一固定值, 驱动电路的某几个功率管将长时间导通。为避免功耗过大, 降流开关 $S_{1/4}$ 断开, 步进电机静态电流下降。

降流原理见图 7。静态时, $Q_{8/1}$ 的 P_1 端 (该集成电路的第一脚) 无脉冲信号, 可能为高或低电平, $Q_{8/1}$ 的输出端经两路加至 $Q_{0/1}$

的 P_1, P_2 , 一路经一次反相, 另一路经两次反相, 故 P_1, P_2 必为一高、一低电平, $Q_{2/0/1}$ 的 P_3 必为高电平, $Q_{9/1}$ 导通, V_0 降至 1.67 V, 相应的 $-U_{REF}$ 也下降。

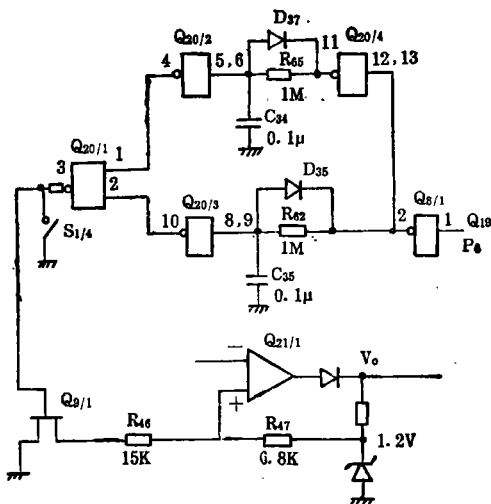


图7 降流控制电路

动态时, 由于 $Q_{8/1}$ 的 P_1 接 Q_{19} 输出端最低位 P_6 , 有一输入脉冲时 P_6 的电平就翻转一次, 由 $0 \rightarrow 1$ 或由 $1 \rightarrow 0$ 。设由 $1 \rightarrow 0$, 即为高电平 \rightarrow 低电平, 下分两路。一路为 C_{35} 经 D_{35} 迅速向 $Q_{8/1}$ 放电, Q_{20} 的 P_8, P_9 即由高 \rightarrow 低, P_{10} 由低 \rightarrow 高。另一路, $Q_{20/4}$ 的 P_{11} 为高, 通过 R_{65} 向 C_{34} 充电, $Q_{10/2}$ 的 P_5, P_6 电压渐升, 但还未升至 $Q_{20/2}$ 的翻转电平时, $Q_{20/2}$ 的 P_4 仍为高电平, $Q_{20/1}$ 的 P_3 为低电平, $Q_{9/1}$ 不导通, 无降流作用。 Q_{19} 的 P_6 由 $0 \rightarrow 1$ 时可作同样的分析。

电路的时间常数 $\tau = 1 \text{ M}\Omega \times 0.1 \mu = 0.1 \text{ s}$ 。当脉冲 $T \ll \tau$ (即 $T \ll 0.1 \text{ s}$)、 $f \gg 10 \text{ Hz}$ 时, C_{34} (或 C_{35}) 上电压无法充至 $Q_{20/2}$ (或 $Q_{20/3}$) 的翻转电平, $Q_{20/1}$ 的 P_1 、 P_2 始终为高电平, P_3 为低电平, 无降流作用。但当脉冲频率降至 10 Hz 以下, 则 $T > 0.1 \text{ s}$, 转速很慢时, C_{34} 或 C_{35} 能充分地充电, 使 $Q_{20/2}$ (或 $Q_{20/3}$) 翻转, 降流作用有效。

电流量零的作用,使 Q_{18} 的 P_3 为低电平,经 Q_{18} 反相, PROM 的 \overline{EA} 端为高电平,

PROM 输出悬空, 关闭全部驱动电路, 步进电机电流全为零。

驱动电路

驱动电路由正负电源分时供电, 每相两个驱动回路, 5 相共 10 个驱动回路。现以第 5 相正电源供电回路为例说明工作原理。图 8 中 L_5 为步进电机绕组。

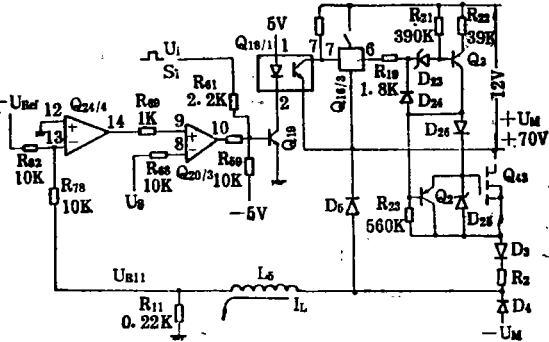


图 8 驱动电路

当无输入即 $U_i = 0$ 时, Q_{19} 截止, $Q_{18/1}$ 不导通, $Q_{16/3}$ 的 P_7 、 P_6 均为高电平, D_{23} 截止, Q_3 也截止, VMOS 管的 Q_{43} 栅极无控制电压 (不导通), L_5 无电流通过。当输入端加高电平, $U_i = 3.6\text{ V}$, 电路翻转, Q_{19} 导通……, 最后使 Q_{43} 导通, L_5 上电流由零开始增大, I_L 在 R_{11} 上的压降 U_{R11} 通过 R_{78} 加至比较器 $Q_{24/4}$ 的 P_{13} 端; I_L 继续增大, 使 U_{R11} 增大到足以使 $Q_{24/4}$ 翻转, $Q_{20/3}$ 也跟着翻转, 又使 Q_{19} 截止, L_5 上电流下降, U_{R11} 下降, $Q_{24/4}$ 、 $Q_{20/3}$ 又翻转。两次翻转的 U_{R11} 值 (也即 I_L 值) 相差甚小, 这样 I_L 就在设定值 I_5 附近以微小的幅度波动, 基本上可认为等于 I_5 , 于是就实现了恒流功能。

设 $Q_{24/4}$ 的 P_{13} 端电压为 V_{P13} ,

$$\therefore R_{32} = R_8$$

$$\therefore V_{P13} = (-U_{ReF} + U_{R11})/2$$

又因 $V_{P12} = 0$, 所以当 $(-U_{ReF} + U_{R11}) < 0$, 即 $U_{R11} < U_{ReF}$ 时, $Q_{24/4}$ 输出高电平。当 $U_{R11} > U_{ReF}$ 时, 输出低电平。

$$\therefore V_{P13} \approx V_{P12} \quad U_{R11} \approx I_L R_{11}$$

$$\therefore I_L \approx U_{ReF}/R_{11} = U_{ReF}/0.22 \text{ (A)}$$

可见 I_L 取决于 U_{ReF} 值。

U_s 来自开关稳压电源电路, 为一锯齿波电压, 对驱动电路起斩波作用。实际测试表明, 加 U_s 可降低电源电流, 降低功率管的功耗。

D_{25} 为 10 V 稳压管, 用来限制 VMOS 管栅极电压, 以免过压损坏。 $Q_{18/1}$ 为光电耦合器, 将高压 (70 V) 与低压 (5 V) 回路隔离。 Q_2 提供 VMOS 管栅源极间电容的放电回路。 D_4 及 D_5 为续流二极管。

报警保护电路

D500 有过电压、负电压、功率管超温及过载等项的报警保护功能。参见图 9 (仅画出 $+U_M$ 部分), 现以负压和超温为例说明。

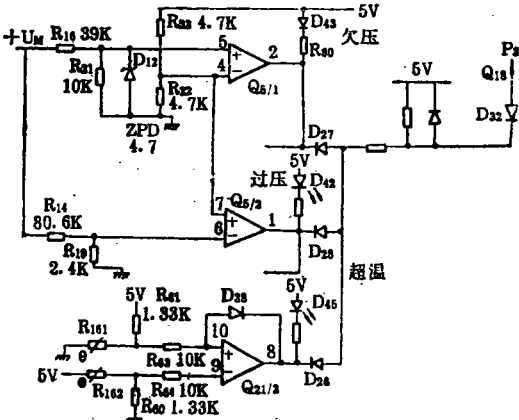


图 9 报警保护电路

图中 D_{12} 的稳压值为 4.7 V, $+U_M$ 经 R_{16} 、 R_{21} 分压后的对地电压为 $70 \times 10/(39 + 10) = 14\text{ V} > 4.7\text{ V}$ 。 D_{12} 钳位使 $Q_{5/1}$ 的 $V_+ = 4.7\text{ V}$, 而 $V_- = 5 \times 4.7/(4.7 + 4.7) = 2.5\text{ V}$ 。因 $V_+ > V_-$, 故 $Q_{5/1}$ 输出 P_2 为高电平, D_{43} (LED) 不发光。

当 $U_M \downarrow$, 使 $Q_{5/1}$ 的 $V_+ \leq 2.5\text{ V}$, 即:

$$U_M \cdot R_{21}/(R_{16} + R_{21}) \leq 2.5 \text{ (V)}$$

$$\therefore U_M \leq 12.5\text{ V}$$

这时 $Q_{5/1}$ 翻转, P_2 为低电平, D_{43} 发光指示负电压。此时 D_{27} 和 D_{32} 导通, 使 Q_{18} 的 P_3

确定市话电缆芯线断线点距离的经验公式

广西桂林通信电缆厂 姚金凤

主题词 市内电话电缆 故障 检测 计算

在市内电话电缆生产过程中，芯线断线的质量问题时有发生。这个问题虽可通过检验发现，但要精确找出断线的位置就比较困难。为了在总长度为 L 的电缆查找断线点的位置，常规的检测方法是，用电容测试仪分别测出装盘电缆外端头侧的断线线对的电容 $C_{外}$ ，以及内端头侧的断线线对电容 $C_{内}$ ，然后用式(1)和式(2)算出断线点离两端头的距离 $L_{外}$ 及 $L_{内}$ ：

$$L_{外} = L \cdot \frac{C_{外}}{C_{外} + C_{内}} \quad (1)$$

$$L_{内} = L \cdot \frac{C_{内}}{C_{外} + C_{内}} \quad (2)$$

用这种常规方法测算出的断线点位置，往往与断线点的实际位置差距甚大。当 $C_{外}$ 和 $C_{内}$ 的测量值相差较大时，其误差更大，有时一公里长电缆的误差达60~70m。如此大的误差，如果发生在半成品上，造成的经济损失或许小一些，只需多花些工时，反复寻找故障点即可；但对于成品电缆，其经济损失就很大了。

根据多年的实际工作经验，在断线故障

为低电平，反相后 PROM 的 \overline{EA} 端为高电平，其输出端悬空，驱动电路不工作，从而起到了保护作用。

超温指 VMOS 管过热。热敏电阻 R_{161} 及 R_{162} 固定于 VMOS 管散热板上。常温下 $R_{161} = R_{162} = 10\text{ k}\Omega$ ， $Q_{21/3}$ 的 $V_+ > V_-$ ，输出高电平，超温指示 D_{45} (LED) 不亮。

当温度上升时， R_{161} 、 $R_{162} \downarrow$ ， $V_+ \downarrow$ ， $V_- \uparrow$ ，至 $V_+ < V_-$ 时，电路翻转， D_{45} 发光指示 VMOS 管过热，同时使 PROM 的输出悬空。这时 D_{38} 导通， $V_+ \downarrow \downarrow$ ，当管子温度下降后仍维持 $V_+ < V_-$ ，只有关机后再开机才能复位。

开关稳压电源电路

D500 从主机取得 +24 V 和 $\pm 70\text{ V}$ 三相电源，其余 $\pm 5\text{ V}$ 和两组独立的 12 V 电压均由开关稳压电源电路提供。图 10 为该电路示意图。SG 3524 为开关稳压电源控制集成电路。频率为 35 kHz 的开关信号输入脉冲变压器初级，其次级有 4 个绕组，经整流滤波后得到稳定的 $\pm 5\text{ V}$ 电压和两组独立

的 12 V 电压。另外，该电路还提供锯齿波电压 U_s 作为驱动电路的斩波信号

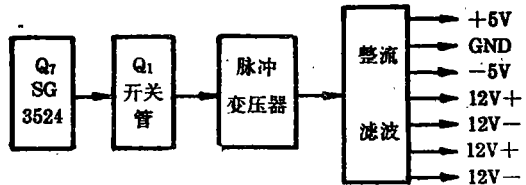


图 10 开关稳压电源电路

结 束 语

综上所述，D500 工作原理是以 PROM 为核心，脉冲分配方式存储于 PROM 中，PROM 的地址由计数器在外加脉冲作用下产生。D500 的驱动级采用恒流斩波方式，工作效率高。相电流分 16 档可预置。通过外加信号，可使计数器复位；控制全步/半步工作方式；控制相电流增大、减小或为零。当工作电压过高或过低，功率管过热或过载时，通过报警保护电路使 PROM 的数据线悬空，驱动级无输入信号，相电流为零，保护功率管免于损坏，同时有相应的 LED 指示报警。